

En búsqueda del origen de resistencia transgénica a glifosato y resistencia a herbicidas inhibidores de la enzima AHAS en poblaciones silvestres de nabo (*Brassica rapa*) en Argentina

Trabajo final de Intensificación



Analía Marisel Rifai

Tutor

Dr. Ing. Agr. Claudio E. Pandolfo

Asesora externa

Ing. Agr. Sofía Gabriela Tillería

Consejeros

Dra. Ing. Agr. María Soledad Ureta

Dr. Ing. Agr. Alejandro Presotto



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

DPTO. DE AGRONOMÍA

Contenido

Resumen	5
Introducción	6
Hipótesis.....	11
Objetivo	11
Materiales y métodos.....	12
Resultados y discusión	19
Conclusiones	33
Bibliografía.....	34

Índice de tablas

Tabla 1. Poblaciones de *Brassica rapa* que serán utilizadas en el ensayo de caracterización.

Tabla 2. Descriptores utilizados para la caracterización morfológica de las poblaciones de *Brassica rapa*.

Tabla 3. Caracterización morfológica cuantitativa de poblaciones y cultivares de *Brassica rapa* evaluadas en un jardín común.

Tabla 4. Caracterización morfológica cualitativa de poblaciones y cultivares de *Brassica rapa* evaluadas en un jardín común.

Índice de figuras

Figura 1. Triángulo de U de las especies de *Brassica* (U,1935).

Figura 2. Plántulas de las distintas poblaciones de *Brassica rapa*, en bandejas multiceldas, colocadas en invernáculo en la UNS.

Figura 3. Plantas establecidas en el campo experimental.

Figura 4. Determinación de caracteres de silicua en laboratorio.

Figura 5. Análisis de semillas utilizando el programa ImageJ

Figura 6. Altura promedio de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 7. Número promedio de ramificaciones de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 8. Ancho promedio de hojas de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 9. Largo promedio de hojas de los distintos genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 10. Largo de silicua promedio de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 11. Relación promedio entre el largo de pico y el largo de silicua de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 12. Número promedio de semillas por silicua de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 13. Peso promedio total de semillas de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 14. Área promedio de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Figura 15. Análisis de los componentes principales para los distintos genotipos de *Brassica sp.* evaluados en el campo experimental.

Figura 16. Análisis de los componentes principales para los distintos genotipos de *B. rapa* evaluados en el campo experimental.

Resumen

Brassica rapa, también conocida como nabo o nabo silvestre, es una especie anual de la familia brasicáceas, cultivada como hortícola u oleaginosa. La forma silvestre, de la cual se originaron las variedades comerciales, es una maleza altamente invasora.

Brassica napus o colza-canola, es uno de los principales cultivos oleaginosos del mundo. En el mercado existen tres tipos de colza transgénica aprobados. Además, existen cultivares no modificados genéticamente. La colza transgénica nunca se ha cultivado en Argentina, y su cultivo está prohibido desde 1997. La colza-canola es un pariente cercano del nabo ya que proviene de la hibridación natural de las especies *B. oleracea* y *B. rapa*.

En 2012 fueron halladas poblaciones ferales de *B. napus* con resistencia a glifosato en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Dos años más tarde, se hallaron poblaciones naturales de *B. rapa* en la misma zona, con resistencia múltiple a glifosato y a tres familias de inhibidores de la AHAS. El objetivo del presente trabajo fue determinar la variabilidad morfológica existente en las poblaciones de *B. rapa* de Argentina e inferir el origen de las poblaciones resistentes a través de la comparación con biotipos de *B. rapa* provenientes de diversas regiones del mundo.

Se criaron en jardín común 21 accesiones de distintas partes del mundo de *B. rapa* solicitadas al banco de germoplasma del USDA, en Estados Unidos, junto a 12 poblaciones naturalizadas argentinas, dentro de las que se encontraba la población de Balcarce, con resistencia transgénica a glifosato, y la población de La Dulce con resistencia transgénica a glifosato y resistencia a herbicidas AHAS.

La variabilidad hallada entre las poblaciones de *B. rapa* estudiadas no pudo asociarse específicamente a los genotipos resistentes y susceptibles.

Introducción

Las malezas interfieren en los intereses y actividades que realiza el hombre, son especies vegetales que afectan el potencial productivo de la superficie ocupada. Este daño puede ser medido como pérdida del rendimiento agrícola por unidad de área cultivable o también afectando la productividad de una empresa comercial. En numerosos casos las malezas tuvieron una evolución paralela a la de los cultivos, con quienes incluso comparten progenitores (Harlan, 1992). Las relaciones entre las especies domesticadas, sus malezas y los parientes silvestres involucran un intercambio genético en todos los sentidos. La hibridación y posterior selección natural han generado la evolución de nuevas malezas (Ellstrad et al., 2010; Vigueira et al., 2013).

Las Brasicáceas, antes denominadas Crucíferas, son una importante familia vegetal que incluye unos 338 géneros y unas 3.709 especies, distribuidas ampliamente en los más diversos climas alrededor del mundo (Al-Shehbaz et al., 2006). Su importancia se debe a que incluye especies que han sido cultivadas por siglos para la alimentación humana, como fuente de aceites industriales y comestibles, condimentos y especies hortícolas. Además, algunos miembros de esta familia presentan un alto poder invasor e interfieren cultivos relevantes para la humanidad. Las crucíferas comprenden más de 120 malezas, generalmente cosmopolitas, presentes en los sistemas productivos de todo el mundo (Warwick, 2011). Dentro de la familia Brasicáceas se encuentra el género *Brassica* que comprende seis especies cultivadas de gran relevancia mundial: *B. rapa* L. (AA, $2n=2x=20$), *B. nigra* (L.) Koch (BB, $2n=2x=16$) y *B. oleracea* L. (CC, $2n=2x=18$) (diploides), y *B. carinata* A. Braun (BBCC, $2n=4x=34$), *B. juncea* (L.) Czern. (AABB, $2n=4x=36$), y *B. napus* L. (AACC, $2n=4x=38$) (tetraploides). Análisis genéticos han demostrado que estas especies se encuentran emparentadas entre sí. El triángulo de U representa gráficamente las relaciones entre ellas, de cómo las especies diploides *B. nigra*, *B. oleracea* y *B. rapa*, mediante hibridaciones, dieron origen a tres especies alopoliploides, *B. carinata*, *B. juncea* y *B. napus* (Figura 1).

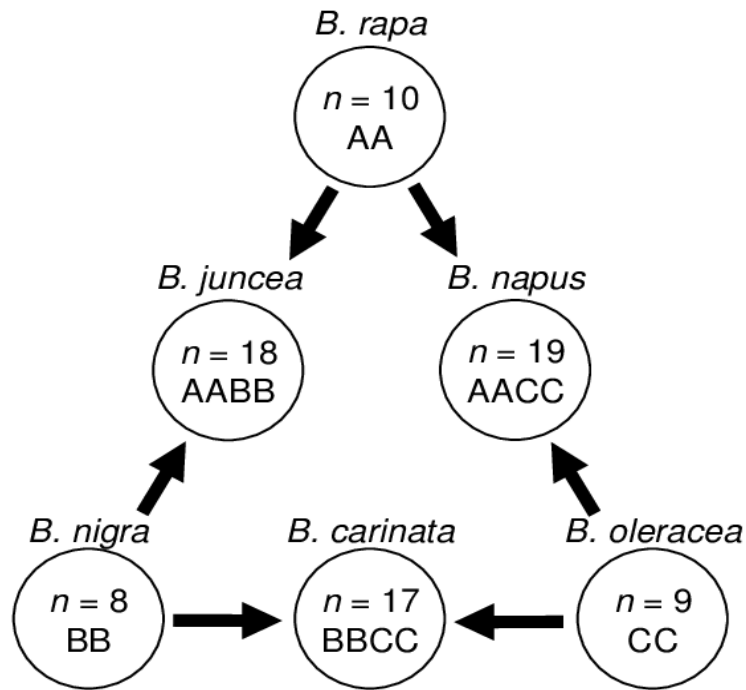


Figura 1. Triángulo de U de las especies de *Brassica* (U,1935)

Brassica rapa, también conocida como nabo o nabo silvestre, es una especie anual, que se propaga por semillas. Es una especie de ciclo invernal, florece a fines de invierno principios de primavera hasta fines de verano, aunque también existen flores otoñales en plantas que llegan a desarrollarse en verano. Esta especie es cultivada como hortícola u oleaginosa. Las poblaciones maleza prefieren hábitats disturbados, es frecuente en potreros, rastrojos de cultivos, bordes de caminos, y otros terrenos modificados. Poseen una raíz delgada pivotante (aunque en algunas variedades cultivadas y en poblaciones ferales, la raíz puede estar engrosada), tallos erguidos, ramificados de hasta 1,2 m de altura, redondos con pubescencia variable. Las hojas inferiores son cortamente pecioladas, lirado-pinnatífidas, las medianas pinnatilobadas, con lóbulo terminal irregularmente dentado, muy grande y lóbulos laterales pequeños triangulares, con base dilatada, abrasadora; hojas superiores lanceoladas, enteras, acorazonadas y abrazadoras en la base. La pubescencia en las hojas es también variable. Posee una inflorescencia del tipo racimosa, flores amarillas, constan de cuatro sépalos y cuatro pétalos en forma de cruz, 6 estambres tetradínamos y un ovario bicarpelar. El fruto es una silicua cilíndrica, de 4-7 cm de longitud, compuestas por dos cámaras separadas por un falso tabique. Las semillas son globosas, negras o castaño negruzcas de aproximadamente 2 mm de diámetro (Marzocca, 1976; Cabrera et al., 1967).

B. rapa presenta grupos definidos o subespecies, diferenciados por sus características morfológicas. Dentro de los morfotipos de semillas oleaginosas encontramos a las subespecies *oleifera* (colza de nabo), ssp. *dichotoma* (brown sarson/toria), ssp. *trilocularis* (Yellow sarson). El tipo oleífero es utilizado como colza-canola principalmente en el oeste de Canadá, donde se la conoce como turnip rape o “colza tipo polaco”. Dentro de los morfotipos cultivados como hortalizas encontramos ssp. *pekinensis* (col china), ssp. *chinensis* (bok choy), ssp. *nipposinica* (mizuna/mibuna), ssp. *rapifera* (rapini/brócoli rabe), ssp. *narinosa* (tatsoi), ssp. *parachinensis* (choy sum) y ssp. *perviridis* (komatsuna). El morfotipo cultivado por sus raíces carnosas pertenece a la spp. *rapa* (nabo). Actualmente se reconocen dos amplias razas, con centros de origen independientes. El centro Occidental dio origen a las formas oleaginosas y de raíces engrosadas, y el centro oriental a las formas hortícolas (Gómez-Campo y Prakash, 1999; Prakash et al., 2012).

Las poblaciones silvestres de esta especie son maleza de cultivos en más de 50 países sobre al menos 20 cultivos en climas templados del hemisferio norte, algunos países asiáticos, Sudamérica, Australia y Nueva Zelanda. *B. rapa* afecta a los cultivos de trigo y otros cereales, aunque también puede afectar otros cultivos como girasol, maíz, sorgo, montes frutales, huertas y alfalfares. En Argentina está presente en todas las provincias del país, sobre todo en la región pampeana y es reconocida como maleza de cultivos desde la década de 1930, época en la cual se comenzaron a aprovechar las poblaciones naturales de nabo para la producción de aceite industrial. La abundancia de *B. rapa* como maleza de trigo y lino era tal, que la sola separación de sus granos pagaba el trabajo de limpieza y hasta el costo de la producción del cereal cosechado. Debido a la caída de los precios de los cereales, y a los buenos rendimientos del nabo, llevó al gobierno nacional a incentivar la siembra de la maleza como un cultivo por sí mismo. El grano de nabo cotizó en la Bolsa de Cereales hasta la década de 1960 (Tenenbaum, 1937; Pascale, 1976; Iriarte y Valetti, 2008).

El nabo a través de cruza interespecíficas naturales con *B. oleracea* (coles o repollos), dio origen a la especie cultivada *B. napus* o colza-canola, uno de los principales cultivos oleaginosos del mundo. Actualmente, se encuentran aprobados tres tipos de colza transgénica (genéticamente modificada, GM) con resistencia a herbicidas (RH) tales como glifosato, glufosinato y bromoxinil. Alrededor de 8,6 Mha se cultivan con cultivares GM en cinco países que actualmente permiten su cultivo: Canadá, EE. UU., Australia, Japón y Chile. En Argentina, no se comercializan los cultivos de colza transgénica. Por otro lado, también existen cultivos de colza RH no GM, que corresponden a cultivares

resistentes a herbicidas imidazolinonas “IMI”, comercializados bajo la denominación Clearfield (CL).

El flujo génico es el proceso que culmina con la incorporación de genes de una población dentro de otra. Este flujo entre diferentes especies de *Brassica* es relativamente alto debido a la compatibilidad sexual de los miembros del triángulo U. Los cruces interespecíficos pueden resultar en híbridos exitosos, especialmente aquellos que involucran *B. rapa* y *B. napus*. En poblaciones de *B. rapa* creciendo fuera de cultivos de *B. napus*, la frecuencia de hibridación observada ha sido baja (0,4-1,5%). Sin embargo, cuando *B. rapa* actúa como madre (Iriarte, 2008) y se encuentra aislada como maleza dentro de los cultivos de *B. napus* la frecuencia de hibridación puede ser sustancialmente mayor (56-93%) (FitzJohn et al., 2007; Devos et al., 2009).

La domesticación de *B. napus* es relativamente reciente. En comparación con los cultivos de cereales altamente domesticados, la colza aún conserva más características de maleza que otros cultivos. Algunas de estas incluyen el rápido desarrollo del crecimiento, alta plasticidad individual, capacidad reproductiva y dispersión de semillas. Las semillas de *B. napus* son más pequeñas que las semillas de la mayoría de los otros cultivos, lisas y esféricas, lo que facilita su entierro (Gulden et al. 2008).

Existen poblaciones de plantas denominadas ferales, las cuales son el resultado de escapes de cultivos, que pueden sobrevivir y reproducirse con éxito sin intervención humana. A menudo, habitan en ambientes ruderales como los márgenes de los campos, las banquetas de las carreteras, las vías férreas, los puertos y las instalaciones de almacenamiento y manipulación de semillas. Las poblaciones de colza feral pueden originarse debido al derrame de semillas durante el transporte, la redistribución de semillas por equipos de campo o su dispersión por aves y mamíferos. Por ejemplo, en Japón, donde el cultivo de colza oleaginosa transgénica estaba prohibido, pero se importaba como alimento y forraje, se han detectado repetidamente plantas de colza oleaginosa transgénica resistentes al glifosato y al glufosinato en áreas portuarias y a lo largo de las rutas de transporte. La presencia del transgén se atribuyó a la pérdida y derrame accidentales de semillas de colza transgénica RH viables importadas (Saji et al. 2005).

Los cultivares comerciales de colza disponibles en Argentina no son transgénicos (INASE, 2021). La colza transgénica nunca se ha cultivado en Argentina, y su cultivo está prohibido desde 1997, debido a las restricciones que implica la existencia de parientes silvestres naturalizados con los cuales puede haber flujo génico. En 2007, se amplió la prohibición y se restringió toda importación de colza transgénica para

producción o comercialización y la recepción y procesamiento de cualquier importación de semilla de colza oleaginosa requería la presentación de un análisis libre de transgénicos del país exportador (Secretaría Nacional de Sanidad Ambiental). (SENASA) 2007). No obstante, se ha avanzado en la introducción de líneas no transgénicas con resistencia a herbicidas del tipo Clearfield (INASE, 2021).

En 2012 fueron halladas poblaciones ferales de *B. napus* con resistencia a glifosato en lotes sin registros de cultivo de colza-canola, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Pandolfo et al., 2016). Durante 2014 se hallaron poblaciones naturales de *B. rapa* en la misma zona, con resistencia múltiple a glifosato y a tres familias de inhibidores de la AHAS (Pandolfo et al., 2018). Esto último conlleva a un panorama complejo que involucra aspectos de impacto ambiental por la liberación del transgén en ambientes naturales. El origen de estas poblaciones es incierto, debido a la prohibición existente en nuestro país para el cultivo de variedades con el evento de transgénesis que confiere resistencia a glifosato, mencionada anteriormente. Este hallazgo podría sugerir que la resistencia a glifosato provendría de cultivos de colza transgénica realizados de manera informal en el país o de individuos ingresados como contaminante de semilla importada antes de 2007, año a partir del cual la legislación nacional solicita el análisis probatorio de ausencia de material OGM (SENASA, 2007).

Productores y asesores de la zona del sudeste bonaerense afirman que han detectado la presencia de nabo resistente en más del 10% de los lotes agrícolas de la región. Esto conlleva un evidente impacto económico y ambiental, derivado de la necesidad de aumentar las aplicaciones de herbicidas para el control de estas poblaciones. Además, el transgén ha persistido por más de 5 años en ambientes agrícolas, moviéndose también a zonas ruderales, con menor intervención humana y presión de selección por herbicidas (Pandolfo et al., 2018).

El presente trabajo propuso realizar una caracterización morfológica de 24 poblaciones de *B. rapa*, dentro de las cuales se incluyeron las subespecies *chinensis*, *trilocularis* y *oleífera*. Las mismas consisten en 13 poblaciones provenientes de distintas partes del mundo y 11 de distintas regiones de Argentina. Dos de estas accesiones argentinas presentan resistencia a herbicidas y fueron comparadas con el resto de las poblaciones. De esta manera, se buscó generar información que permita inferir el origen de estas poblaciones con resistencia transgénica a glifosato.

Hipótesis

La comparación morfológica con biotipos de *B. rapa* traídos de distintas regiones del mundo y de distintas subespecies, permitirá determinar la variabilidad de las poblaciones argentinas e inferir el origen de las poblaciones silvestres transgénicas presentes en el país.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue determinar la variabilidad morfológica existente en las poblaciones de *B. rapa* de Argentina e inferir el origen de las poblaciones resistentes a través de la comparación con biotipos de *B. rapa* provenientes de diversas regiones del mundo.

Materiales y métodos

En el año 2021 se criaron en jardín común 21 accesiones de *Brassica rapa* solicitadas al banco de germoplasma del USDA, en Estados Unidos, provenientes de diferentes regiones del mundo (incluyendo poblaciones originarias de países con cultivo de colza transgénica): Nepal, Estados Unidos, Egipto, Suecia, Brasil, Canadá, Pakistán, Afganistán, China, Italia e India. Junto con estas, se cultivaron 12 poblaciones naturalizadas argentinas, colectadas en distintas regiones del país, dentro de las que se encontraba la población proveniente de la localidad de Balcarce, con resistencia transgénica a glifosato, y la población proveniente del establecimiento La Dulce con resistencia transgénica a glifosato y resistencia a herbicidas AHAS (Tabla 1).

Tabla 1. Poblaciones de *Brassica rapa* que serán utilizadas en el ensayo de caracterización.

Población	Especie	Sigla	Estatus biológico	Origen	Año	Características	Colección
La Dulce	<i>Brassica rapa</i>	LDU RR	Silvestre	La Dulce, Argentina	2016	Dentro del lote agrícola. Resistencia transgénica a glifosato y AHAS.	UNS
Balcarce	<i>Brassica rapa</i>	BAL RR	Silvestre	Balcarce, Argentina	2013	Dentro del lote agrícola. Resistencia transgénica a glifosato y AHAS.	UNS
Necochea	<i>Brassica rapa</i>	NEC	Silvestre	Necochea, Buenos Aires	2009	Banquina ruta 228.	UNS
San Carlos de Bariloche	<i>Brassica rapa</i>	SCB	Silvestre	San Carlos de Bariloche, Argentina	2017	A orillas del lago Nahuel Huapi.	UNS
Quequén	<i>Brassica rapa</i>	QUE	Silvestre	Buenos Aires, Argentina	2013		UNS
Azul	<i>Brassica rapa</i>	AZUL	Silvestre	Buenos Aires, Argentina	2011		UNS
Tafí del valle	<i>Brassica rapa</i>	TAF	Silvestre	Tucumán, Argentina	2009		UNS
Pantanososa	<i>Brassica rapa</i>	PAN	Silvestre	La Pantanososa, Buenos aires	2011		UNS
Río Cuarto	<i>Brassica rapa</i>	RCU	Silvestre	Córdoba, Argentina	2009		UNS
Tres Arroyos	<i>Brassica rapa</i>	TSA	Silvestre	Buenos Aires, Argentina	2013		UNS
Nabo	<i>Brassica rapa</i>	Nabo	Cultivado	Buenos Aires, Argentina	1948	Cale, Alexandre and Company. Cultivado como oleaginosa.	USDA

Tabla 1(Cont.) Poblaciones de *Brassica rapa* que serán utilizadas en el ensayo de caracterización.

Población	Especie	Sigla	Estatus biológico	Origen	Año	Características	Colección
Afghanistan	<i>Brassica rapa</i>	Afghanistan	Cultivado	Afghanistan	1978	Market, Kunduz	USDA
Yellow Sarson	<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>trilocularis</i>	Yel. Sarson	Cultivado	Pakistan	1974		USDA
Finlandia	<i>Brassica rapa</i>	Finlandia		Finland	1958	Pertenece a <i>B. juncea</i> por caracterización morfológica	USDA
Guatemala	<i>Brassica rapa</i>	Guatemala		Guatemala	1924		USDA
Pakistan	<i>Brassica rapa</i>	Pakistan		Pakistan	1920		USDA
Francia	<i>Brassica rapa</i>	Francia		Francia	1953	Pertenece a <i>B. napus</i> por caracterización morfológica	USDA
Ames 30082	<i>Brassica rapa</i>	Ames 82	Silvestre	California, USA	2009	Upper Newport Bay, Orange County.	USDA
Ames 30084	<i>Brassica rapa</i>	Ames 84	Silvestre	California, USA	2009	Reststop, Camp Pendleton, San Diego County	USDA
Egypto	<i>Brassica rapa</i>	Egypto	Silvestre	Egypt	1958	Bazaar, Cairo, Egypt	USDA
Honduras	<i>Brassica rapa</i> subsp <i>rapa</i>	Honduras	Silvestre	Lempire, Honduras	1992		USDA
China	<i>Brassica rapa</i> ssp. <i>chinesis</i>	China	Silvestre	Kanton, China	1996		USDA
Brasil	<i>Brassica rapa</i>	Brasil	Otro	San Pablo, Brasil	1968		USDA
Italia	<i>Brassica rapa</i> ssp. <i>oleifera</i>	Italia	Raza local	Calanna, Calabria, Italia	1950	Al oeste de la cima del cordón montañoso Aspromonte.	USDA

A fines de abril del año 2021 las accesiones se sembraron en bandejas multicelda con sustrato comercial Growmix (Multipro). Las mismas fueron colocadas en invernáculo, donde las plantas se criaron bajo luz natural, riego diario y a temperatura de 20-25 °C (Figura 2).



Figura 2. Plántulas de las distintas poblaciones de *Brassica rapa*, en bandejas multiceldas, colocadas en invernáculo en la UNS.

Cuando comenzaron a emerger los cotiledones, se realizó la medición del ancho de estos con un calibre digital.

Una vez alcanzado el estado de 3-4 hojas verdaderas, a fines de mayo, se realizó el trasplante de las plántulas al campo experimental ubicado en el predio del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, el cual fue previamente acondicionado para dicho uso, mediante dos labores de rastra y una de rastrillo para emparejarlo. Para su siembra se utilizó una distancia entre hileras de 0,5 m. Se utilizó el método de riego por goteo. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron fertilizaciones con urea y se desmalezó manualmente (Figura 3).



Figura 3. Plantas establecidas en el campo experimental.

A lo largo del ciclo del cultivo, se realizó la caracterización morfológica de 10 plantas de cada población y cultivar, elegidas al azar, utilizando 17 descriptores, aceptados internacionalmente (IBPGR, 1990) (Tabla 2).

Tabla 2. Descriptores utilizados para la caracterización morfológica de las poblaciones de *Brassica rapa*.

Sigla	Descriptor	Tipo	Detalle
Caracteres de plántula			
ANC	Ancho de cotiledon	Métrico	Ancho de cotiledón (mm).
Caracteres de planta			
ALP	Altura planta	Métrico	Altura de la planta (cm) a madurez.
NRP	Número de ramificaciones	Métrico	Número de ramificaciones del tallo principal.
Caracteres de la hoja (Medidos en la hoja mayor del sector inferior)			
AHI	Ancho de hoja	Métrico	Ancho (cm) de hoja inferior.
LHI	Largo de hoja	Métrico	Largo (cm) de la hoja inferior.
FHI	Forma de hoja	Categórico	Forma de hoja inferior: 1. Orbicular; 2. Eliptica; 3. Obovada; 4. Espatulada; 5. Ovada; 6. Lanceolada; 7. Oblonga.
MHI	Márgenes de hoja	Categórico	Márgenes de hoja inferior: 0. Entero; 1. Crenado; 2. Dentado; 3. Aserrado; 4. Ondulado; 5. Doblemente dentado.
CHI	Color de hoja	Categórico	Color de hoja inferior: 1. verde amarillo; 2. Verde claro; 3. Verde; 4. Verde oscuro; 5. Verde purpura; 6. Purpura; 7. Otro.
PHI	Pubescencia de hoja	Categórico	Pubescencia hoja inferior: 0. Glabro; 1. Muy escasa; 3. Escasa; 5. Intermedia; 7. Abundante.
TRI	Tricomas	Categórico	Presencia de tricomas en hoja inferior; 0. Ausencia; 1. Presencia.
AHS	Abrazamiento de hoja	Categórico	Abrazamiento de hoja superior: 1. Pecioladas; 2. No abrazadoras; 3. Apenas abrazadoras (< 1/2); 4. Abrazadoras (>1/2); 5. Totalmente abrazadoras.
Caracteres de inflorescencia (Medidos sobre inflorescencia principal)			
CPE	Color de pétalo	Categórico	Color principal del pétalo: 1. Blanco; 2. Amarillo pálido; 3. Amarillo; 4. Amarillo anaranjado; 5. Rosa; 6. Rojo; 7. Purpura; 8. otro.
LPE	Largo de pétalo	Métrico	Largo (cm) de pétalo.
SIP	Silicuas por inflorescencia	Métrico	Número de silicuas maduras por inflorescencia principal.
LSI	Largo de silicua	Métrico	Largo (cm) de silicua.
LPI	Largo de pico	Métrico	Largo (cm) de pico.
NSS	Número de semillas por silicua	Métrico	Número de semillas por silicua.
PT	Peso total semillas	Métrico	Peso (mg) total semillas.
Caracteres de la raíz			
FRA	Forma de raíz	Categórico	Forma de la raíz: 1. forma llave; 2. Triangular; 3. Cilíndrica; 4. Eliptica; 5. Esférica; 6. Eliptica transversal; 7. Triángulo invertido; 8. Apicalmente bulboso; 9. Cuerno; 10. Bifurcado

En el mes de diciembre del año 2021, se realizó la cosecha de las plantas en forma manual, las cuales fueron almacenadas en laboratorio. Durante el mes de enero, las plantas fueron procesadas y se determinaron los caracteres de silicua y semilla (Figura 4). Conjuntamente, se realizó un análisis de semillas con el programa ImageJ (Figura 5).



Figura 4. Determinación de caracteres de silicua en laboratorio.

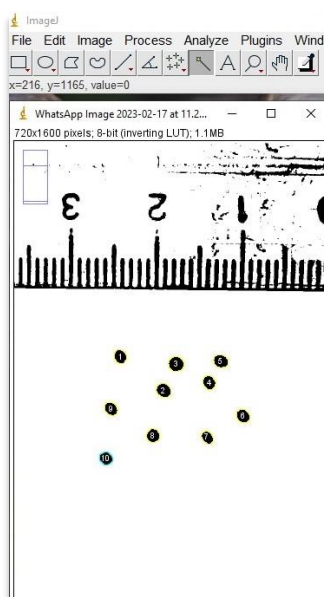


Figura 5. Análisis de semillas utilizando el programa ImageJ

Finalmente, los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente con el programa Infostat. Para los caracteres cuantitativos, se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA), y las medias fueron comparadas con el test de Tukey ($p < 0,05$). Además, estos datos fueron utilizados para realizar el análisis de componentes principales.

En el caso de los descriptores cualitativos, se realizó un análisis mediante la prueba no paramétrica de Krustal-Wallis.

Resultados y discusión

El análisis comparativo de los caracteres cuantitativos y cualitativos de las poblaciones de *B. rapa* susceptibles y resistentes tanto a glifosato como herbicidas inhibidores de la enzima AHAS, no mostró diferencias que permitieran el agrupamiento de las poblaciones según su condición (Tabla 3 y 4).

Las poblaciones solicitadas al banco de germoplasma concordaron con el fenotipo de *B. rapa*, a excepción de Francia y Finlandia, las cuales se determinaron por caracterización morfológica que pertenecen a las especies de *B. napus* y *B. juncea* respectivamente.

Mediante el análisis de varianza de los descriptores cuantitativos se observó que, con lo que respecta al ancho de cotiledón no se encontraron diferencias significativas entre la mayoría de las poblaciones analizadas. La mayoría de las poblaciones presentaron un ancho promedio que osciló entre 1,01 y 1,6 cm. Finlandia al corresponderse con *B. juncea*, fue la única población que se diferenció de QUE. Ambas presentaron valores extremos de 0,64 y 1,97 cm respectivamente. (Tabla 3).

Tabla 3. Caracterización morfológica cuantitativa de poblaciones y cultivares de *Brassica rapa* evaluadas en un jardín común.

Caracteres	BAL RR	LDU RR	NABO	QUE	RCU	NEC	PAN	AZUL	TAF	TSA	SCB	AFGH
Altura	43,49 ac	52,38 ad	39,18 ab	43,42 ac	46,87 ad	48,8 ad	49,38 ad	49,73 ad	57,3 be	59,35 be	62,17 ce	33,42 a
Ramificación	4,38 a	6 ac	5,5 ac	6 ac	6,6 ac	7,8 ac	4,89 ab	6,6 ac	7,5 ac	8 ac	10,22 bc	5,9 ac
Ancho cotiledon (cm)	1,18 ab	1,21 ab	1,24 ab	1,97 b	1,23 ab	1,26 ab	1,09 ab	1,13 ab	1,14 ab	1,41 ab	1,33 ab	1,15 ab
Ancho hoja (cm)	3,14 a	4,07 a	3,88 a	4,09 a	3,46 a	4,71 a	3,25 a	4,6 a	9,36 a	4,46 a	12,55 a	2,19 a
Largo hoja (cm)	5,97 a	7,97 ab	9,16 ab	9,27 ab	8,06 ab	12,02 ad	7,95 ab	10,39 ad	21,6 ef	10,83 ad	15,24 be	6,99 ab
largo pétalos (cm)	0,76 bf	0,6 be	0,9 eg	0,87 dg	0,78 bg	0,65 be	0,64 be	0,86 dg	0,5 bc	0,6 be	0,68 bf	0,79 cg
Silicuas/Infl ppa	17,63 ac	22 ac	15,2 ac	20,75 ac	20,89 ac	21,8 ac	25,11 ac	25,3 ac	25 ac	27,1 ac	23,67 ac	10,2 a
Largo pico	1,05 ab	1,16 ab	1,06 ab	1,35 b	0,92 ab	1,09 ab	1,11 ab	0,94 ab	0,88 ab	1,1 ab	0,82 ab	1,09 ab
Largo silicua	2,96 ab	2,92 ab	4,1 ac	3,21 ab	3,18 ab	3,16 ab	3,16 ab	2,58 a	2,98 ab	3,59 ab	3,92 ab	3,01 ac
Largo pico/largo silicua	0,36 bd	0,4 d	0,27 ad	0,4 d	0,31 bd	0,36 bd	0,36 bd	0,38 cd	0,3 bd	0,32 bd	0,23 ad	0,36 bd
Semillas/silicua	14,35 a	15,52 a	16,44 a	16,7 a	12,91 a	15,89 a	17,52 a	13,7 a	16,43 a	16,5 a	20,28 ab	12,67 a
Peso total(mg)	0,57 a	1,28 ab	0,56 a	1,54 ab	0,84 a	3,14 ad	1,7 ab	2,27 ac	1,03 ab	2,07 ac	1,39 ab	0,92 a
Área	0,02 f	0,02 bf	0,02 bf	0,02 ad	0,02 ad	0,02 af	0,02 ae	0,02 ae	0,02 ae	0,02 ae	0,01 a	0,02 df
Caracteres	BRASIL	EGIPTO	PAKISTAN	HOND	ITALIA	CHINA	GUAT	AMES 82	AMES 84	FINLANDIA	YEL SARSON	FRANCIA
Altura	34,33 a	47,2 ad	50,01 ad	50,4 ad	54,54 ae	56,49 be	57,97 be	59,35 be	68,4 df	68,5 df	75,5ef	85,25 f
Ramificación	5,83 ac	6,67 ac	8,1 ac	8,1 ac	10,7 c	8,9 ac	9,67 ac	9 ac	8,5 ac	6,5 ac	7 ac	20,5 d
Ancho cotiledon (cm)	1,01 ab	1,5 ab	1,39 ab	1,27 ab	1,44 ab	1,62 ab	1,35 ab	1,28 ab	1,35ab	0,64 a	1,36 ab	1,33 ab
Ancho hoja (cm)	4,7 a	3,78 a	3,75 a	3,74 a	7,85 a	9,1 a	5,28 a	5,7 a	6,61 a	5,1 a	12,25 a	9,68 a
Largo hoja (cm)	13 ae	8,88 ab	9,6 ab	10,28 ac	18,96 cf	19,3 df	12,28 ae	15,4 be	15,25 be	12,75 ae	13,75 ae	27,7 f
largo pétalos (cm)	1 fg	0,62 be	0,65 be	0,74 bf	0,53 bd	0,86 dg	0,44 b	0,67 bf	0,83 dg	sd	1 fg	1,1 g
Silicuas/Infl ppa	13,5 ab	20,75 ac	23,1 ac	25 ac	31,2 bc	24,89 ac	20,56 ac	25,1 ac	22,4 ac	18,5 ac	19 ac	32 c
Largo pico	1,23 b	0,97 ab	1,04 ab	1,01 ab	1,04 ab	0,76 ab	0,81 ab	1 ab	1,01 ab	0,75 ab	1,05 ab	0,47 a
Largo silicua	3,47 ab	3,25 ab	3,55 ab	3,21 ab	3,51 ab	3,88 ac	3,24 ab	3,63 ab	4,73 bc	3,25 ab	5,85 c	4,97 bc
Largo pico/largo silicua	0,35 bd	0,3 bd	0,29 bd	0,32 bd	0,29 bd	0,19 ac	0,26 ad	0,28 ad	0,23 ad	0,23 ad	0,19 ab	0,09 a
Peso total (mg)	0,84 a	2,15 ac	1,44 ab	1,61 ab	3,39 ad	1,97 ab	0,88 a	5,45 ad	3,51 ad	6,12 bd	8 d	7,07 cd
Área	0,02 df	0,02 df	0,02 cf	0,01 ab		0,02 af	0,01 ac	0,02 ae	0,02 ae	0,02 ef	0,02 bf	0,02 df

REF: HOD: Honduras; GUAT: Guatemala; AFGH: Afganistán

Tabla 4. Caracterización morfológica cualitativa de poblaciones y cultivares de *Brassica rapa* evaluadas en un jardín común.

Caracteres	BAL RR	LDU RR	NABO	QUE	RCU	NEC	PAN	AZUL	TAF	TSA	SCB	AFGH
Forma hoja	70,94 a	61,5 a	96,1 a	151,79 a	83,13 a	136,65 a	98,8 a	61,5 a	96,1 a	81,0 a	61,5 a	86,35 a
Márgenes hoja	49,88 a	100,5 ac	67,9 ab	154,64 c	88,56 ab	147,45 bc	92,5 ab	60 a	87 ab	74,35 ab	87 ab	89,1 ab
Color hojas	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b
Pubescencia hojas	100,81 ad	147,21 d	106,5 ad	115,64 bd	37,38 a	87,25 ac	61 a	80,25 ab	106,5 ad	106,15 ad	130 cd	74,3 ab
Tricomas	126 ab	126 ab	110,42 ab	112,64 ab	44,19 ab	84,44 ab	69,9 ab	97,95 ab	107,3 ab	116,65 ab	116,65 ab	79,25 ab
Abr hoja sup	96,64 bc	84,5 ac	93,94 bc	115,08 bc	101,5 bc	87,88 ac	95,7 bc	101,5 bc	101,5 bc	101,5 bc	102,85 bc	97,05 bc
Color pétalos	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a
Dispos. silicuas	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a
Forma raíz	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a

Caracteres	BRASIL	EGIPTO	PAKISTAN	HOND	ITALIA	CHINA	GUAT	AMES 82	AMES 84	FINLANDIA	YEL SARSON	FRANCIA
Forma hoja	61,5 a	71,25 a	100,7 a	145,4 a	99,25 a	84,15 a	112,95 a	87,7 a	98,8 a	99,25 a	61,5 a	61,5 a
Márgenes hoja	100,5 ac	85,45 ab	79,1 ab	129 bc	94,5 ab	87,55 ab	70,7 ab	116,05 ac	110,35 ac	126,5 ac	66,75 ab	5,0 a
Color hojas	9,0 a	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	107 b	9,0 a	107 b	198 b	198 b
Pubescencia hojas	92,5 ad	29,5 a	35,8 a	79 ab	145,5 d	94,7 ad	139,05 d	111,25 ad	112,45 bd	184,5 d	92,5 ad	29,5 a
Tricomas	32,5 ab	32,5 ab	32,5 ab	88,6 ab	126 ab	97,95 ab	107,3 ab	107,3 ab	126 b	126 ab	126 ab	32,6 a
Abr hoja sup	84,5 ac	84,5 ac	128,35 c	74,25 ab	77,35 ab	63,05 ab	101,5 bc	135,5 c	128,35 c	1,4 a	127 bc	12 ab
Color pétalos	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a
Dispos. silicuas	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a	3,0 a
Forma raíz	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a

REF: HOD: Honduras; GUAT: Guatemala; AFGH: Afganistán

Con respecto al carácter altura, las poblaciones resistentes LDU RR y BAL RR no presentaron diferencias significativas entre ellas y tampoco difirieron del resto de las poblaciones argentinas. Comparándolas con las poblaciones provenientes de distintos países solo se pudo observar que se diferenciaron significativamente del control de *B. juncea* (Finlandia), la población Yel. Sarson y el control de *B. napus* (Francia). Los individuos de estas poblaciones fueron los que, en promedio, presentaron mayor altura, 68,5; 75,5 y 85,3 cm, respectivamente. La diferencia en altura de estas poblaciones podría deberse a que Yel. Sarson pertenece a la subespecie mejorada *trilocularis* y por otro lado, Francia y Finlandia corresponden a especies distintas. Entre las poblaciones pertenecientes a Argentina solo se diferenció SCB de la población Nabo (Fig. 6). Nabo es un biotipo cultivado del año 1948 que fue solicitado al banco de germoplasma, a diferencia de SCB que es una población silvestre, lo que podría explicar esa diferencia.

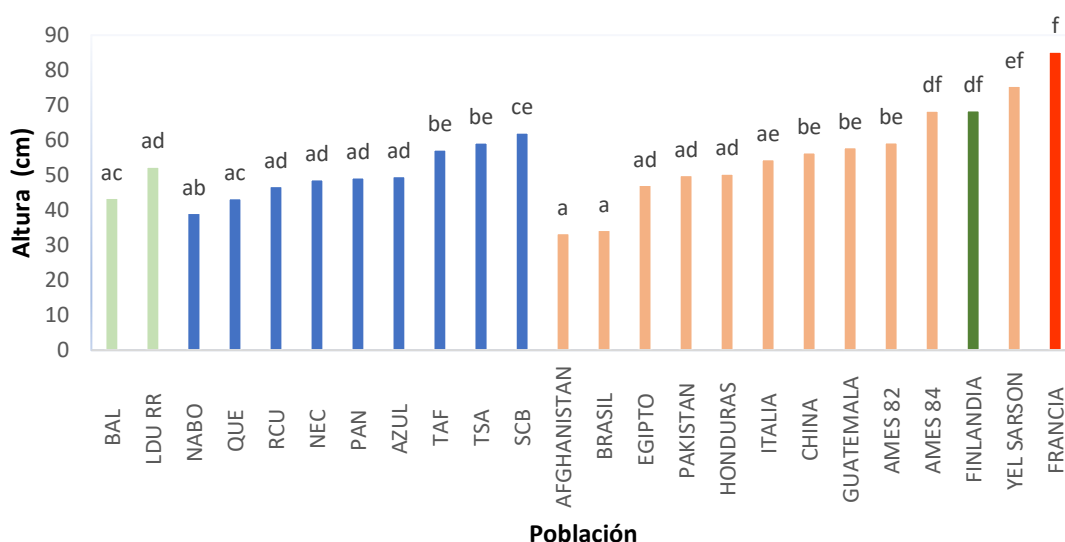


Figura 6. Altura promedio de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

En relación con el número de ramificaciones, la población de Francia perteneciente a la especie *B. napus*, presento en promedio el mayor valor con 20,5 ramificaciones por planta, difiriendo significativamente del resto de las poblaciones. Dentro de las poblaciones argentinas, la única diferencia que se encontró fue entre la población resistente BAL RR y SCB. Esto último podría deberse a las marcadas diferencias entre las condiciones agroecológicas a la cual se encuentran adaptadas. Por otro lado, BAL RR difirió de la población de *B. rapa* de Italia. Esta diferencia se podría deber a que el biotipo de Italia corresponde a la subespecie *oleífera* (Fig. 7).

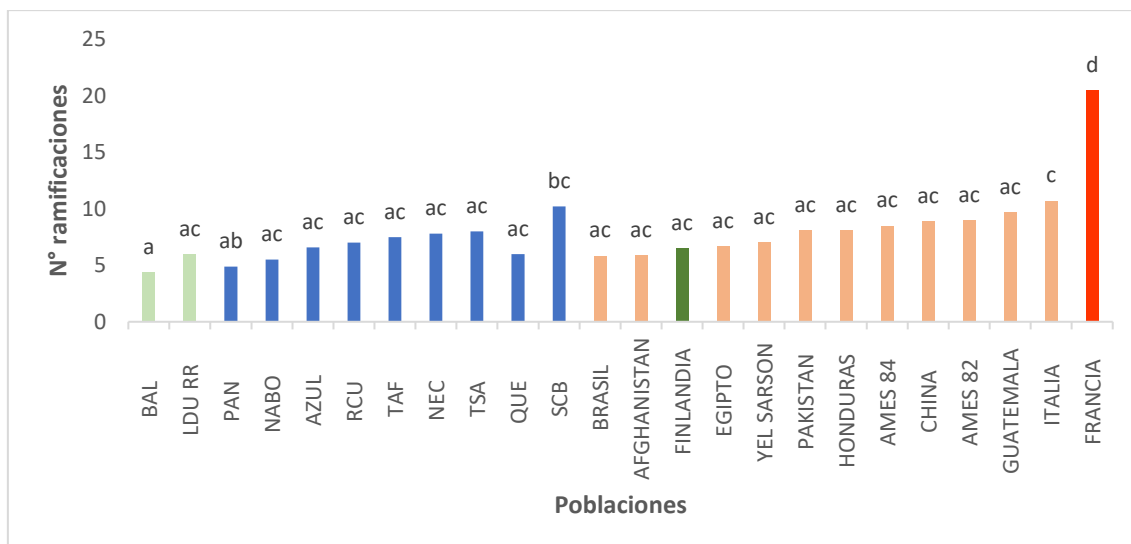


Figura 7. Número promedio de ramificaciones de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Se analizaron dos caracteres de hoja, largo y ancho. Con lo que respecta al ancho de hoja, el análisis ANOVA no arrojó diferencias significativas entre los genotipos analizados, los cuales mostraron valores que fluctuaron entre 2 y 12 cm, aproximadamente. No obstante, entre las poblaciones argentinas se destacaron TAF y SCB con los mayores valores, 9,4 y 12,6 cm, respectivamente. China y Yel. Sarson mostraron una gran diferencia con el resto de las poblaciones de *B. rapa*, arrojando valores de 9,1 y 12,3 cm, respectivamente. Asimismo, la población de Francia o *B. napus* mostró un ancho de hoja de 9,7 cm. (Fig. 8). Al evaluar el largo de hoja se hallaron diferencias significativas entre distintas poblaciones. En principio, la población de Francia, al ser otra especie, presentó el mayor largo, difiriendo significativamente del resto de las poblaciones menos con Italia, China, y con la población argentina TAF. Dentro del grupo de poblaciones provenientes de distintos países se observó que Italia y China se diferenciaron significativamente de Afganistán, Egipto y Pakistán, y en el caso de China también se diferenció de Honduras. Cabe mencionar las poblaciones de Italia, China y Yel. Sarson pertenecen a las subespecies *oleífera*, *chinensis* y *trilocularis* respectivamente (Fig. 9).

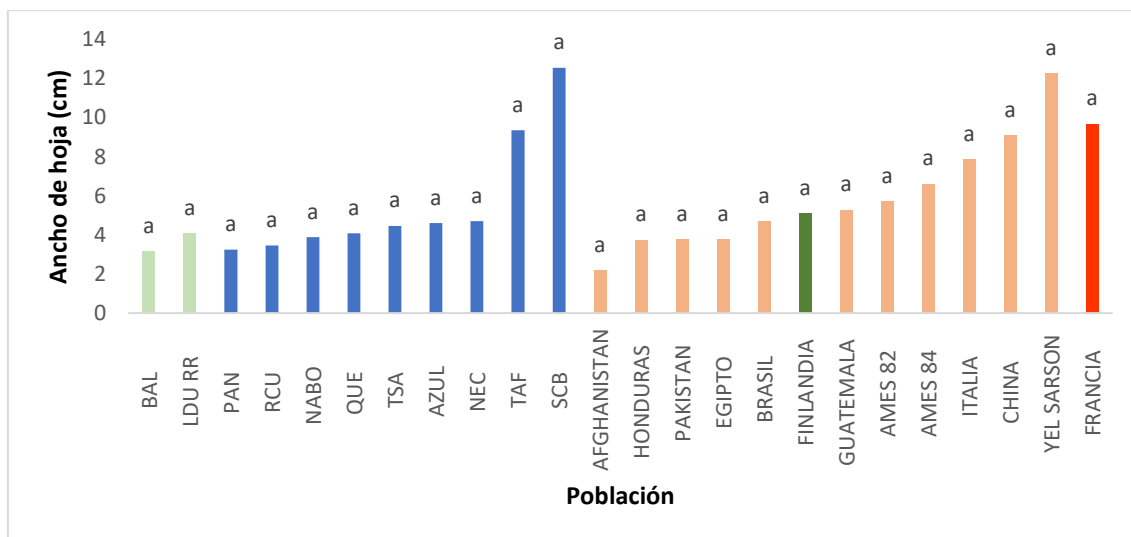


Figura 8. Ancho promedio de hojas de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

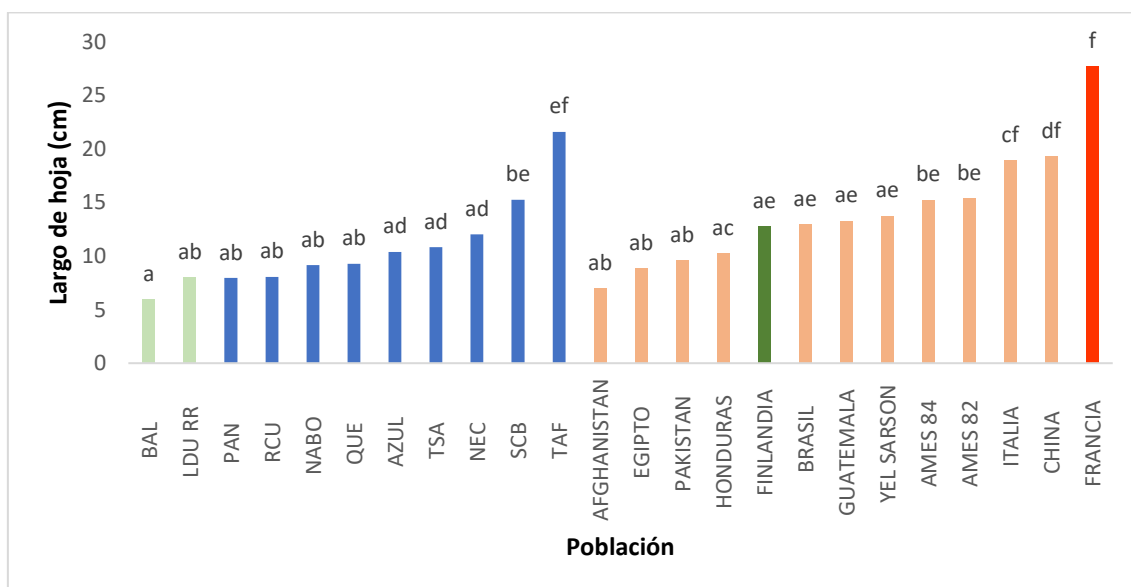


Figura 9. Largo promedio de hojas de los distintos genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Con lo que respecta al largo de pétalos, pudimos observar que las poblaciones resistentes no presentaron diferencias significativas entre ellas y tampoco con las poblaciones silvestres de Argentina. Comparándolas con las distintas accesiones de otros países pudimos ver que BAL RR solo se diferenció significativamente de Francia, mientras que la población de LDU RR se diferenció de Francia, Brasil y Yel. Sarson. Estas tres poblaciones fueron las que en promedio sus individuos presentaron el mayor valor de largo de pétalos, 1,1; 1,0 y 1,0 cm, respectivamente. Estas diferencias podrían

deberse a que en el caso de Francia pertenece a la especie de *B. napus*, esta especie entre sus características morfológicas se diferencia por tener flores amarillas más claras y grandes que *B. rapa*. En el caso de Yel. Sarson, es un biotipo cultivado que pertenece a la especie *Brassica rapa* subsp. *trilocularis*, lo que podría explicar su mayor tamaño de pétalos (Tabla 3).

En cuanto al número de silicuas por inflorescencia principal, se observó que la población de Francia, al pertenecer a otra especie, se destacó presentando en promedio el mayor valor, (32 cm), asimismo, solo se diferenció significativamente de Afghanistan y Brasil. Algo similar ocurrió con el carácter largo de pico, donde solo se observó que la población de *B. napus* de Francia se diferenció de Brasil y QUE respectivamente (Tabla 3).

Con respecto al carácter largo de silicua, la población de Yel. Sarson fue la que presentó en promedio el mayor valor. AZUL fue la que obtuvo menor valor, sin embargo, solo se diferenció de Ames 84, Francia y Yel. Sarson. (Fig. 10).

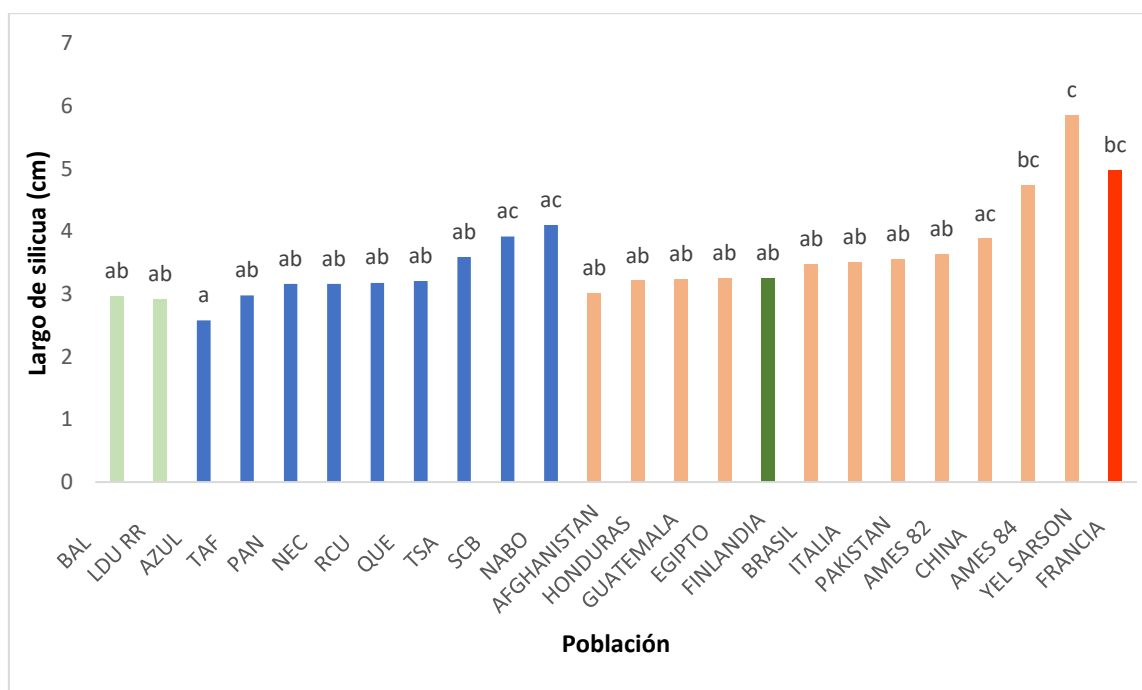


Figura 10. Largo de silicua promedio de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Al analizar la relación largo de pico/ largo de silicua, Francia se diferenció de la mayoría de las poblaciones incluyendo las argentinas que poseen la resistencia. La relación largo

de pico/largo de silicua resultó mayor en las dos poblaciones que presentaban la resistencia (Fig. 11).

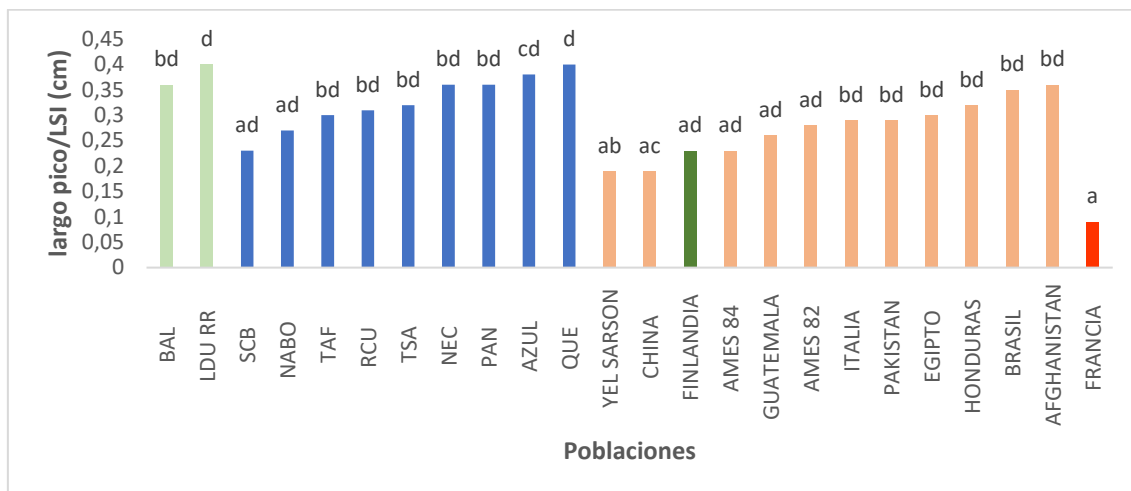


Figura 11. Relación promedio entre el largo de pico y el largo de silicua de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

En cuanto al número de semillas por silicua, en general, no hubo diferencias significativas entre las poblaciones evaluadas. Se observó que Yel. Sarson fue la población que presentó en promedio mayor número de semillas, con una media de 31,2 semillas por silicua, asemejándose a las poblaciones de SCB, Italia y Ames 84, pero difirió significativamente del resto. La mayoría de las poblaciones tuvieron entre 14 a 20 semillas por silicua (Fig. 12).

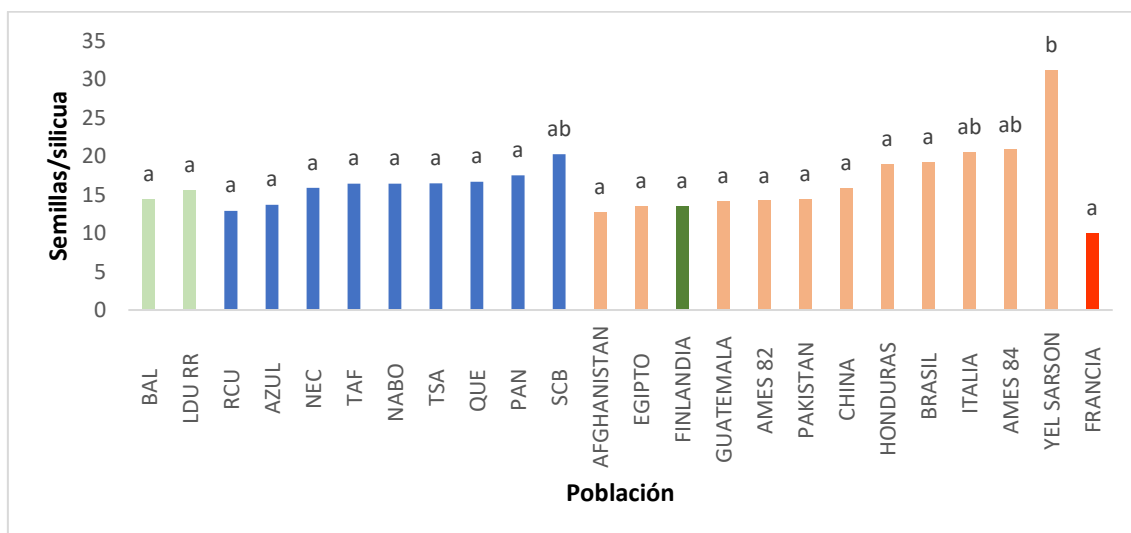


Figura 12. Número promedio de semillas por silicua de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

En general, no se observaron diferencias significativas entre las poblaciones analizadas en lo que respecta al peso total de semillas, a excepción de la población Yel. Sarson, la cual presentó el mayor peso promedio y solo se asemejó a NEC, Ames 82, Finlandia y Francia (Fig. 13).

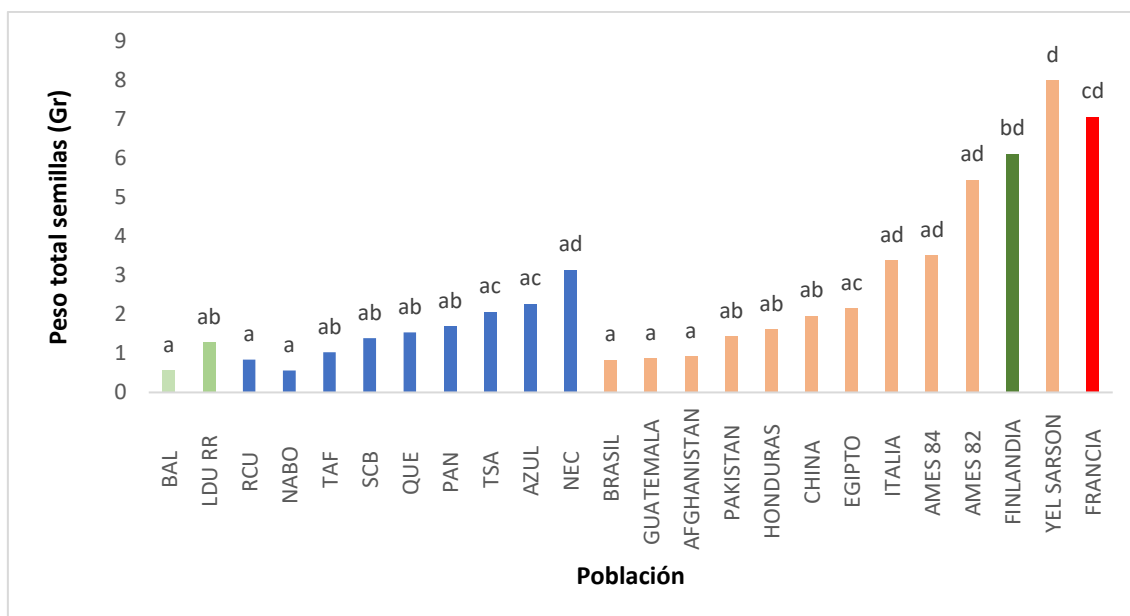


Figura 13. Peso promedio total de semillas de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Francia fue la población que destacó y diferenció de las demás poblaciones en varios de los caracteres cualitativos estudiados. Esto es algo esperable al tratarse de una especie distinta, pudiéndose diferenciar de los individuos pertenecientes a *B. rapa*. Algo similar ocurrió con la población de Finlandia, como se observó en el carácter altura, ya que la misma se corresponde con la especie *B. juncea*.

Con respecto al área de las semillas, en general se obtuvieron valores de 0,02 cm, excepto en dos poblaciones internacionales y una nacional, las cuales arrojaron valores de 0,01 cm de área de semillas (Fig. 14).

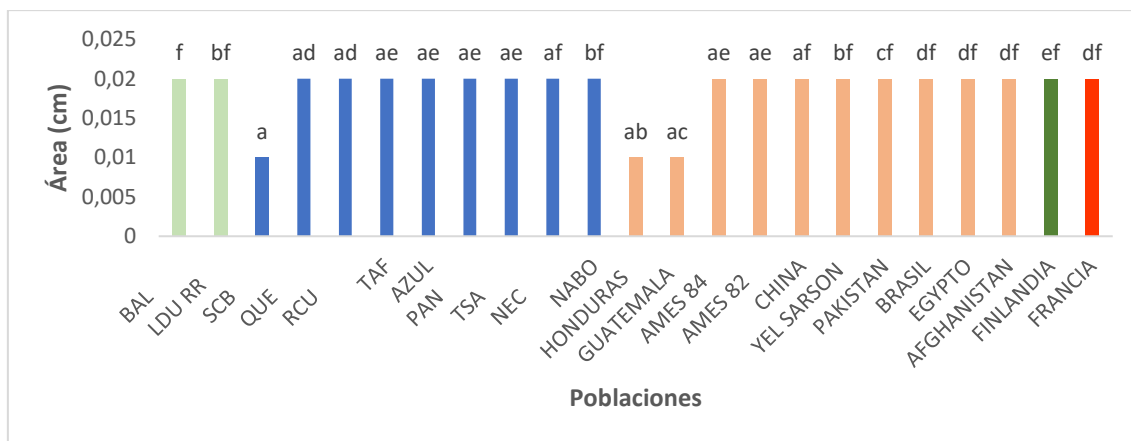


Figura 24. Área promedio de los genotipos estudiados de *Brassica rapa*. Letras distintas representan diferencias significativas para $p < 0,05$ según test estadístico de Tukey.

Mediante el análisis de componentes principales (ACP) se observó que las poblaciones que presentaban resistencia como es el caso de LDU RR y BAL RR se agruparon con otras 13 poblaciones (NEC, AZUL, Nabo, RCU, QUE, Brasil, Afganistán, Egipto, Pakistán, PAN, TSA, Honduras y Guatemala), según el parámetro largo de pico. Mientras que se diferenciaron de las poblaciones de TAF, SCB e Italia, las cuales se agrupan principalmente por el parámetro silicuas/inflorescencia principal (Fig. 15). Esto último podría deberse a las diferentes características agroecológicas a las que se encuentran adaptadas dichas poblaciones, siendo Tafí del Valle originaria del norte del país, SCB de la Patagonia Argentina y las demás, de diferentes zonas de la provincia de Buenos Aires. Debido a que la población de Francia pertenece a la especie *B. napus* se puede observar además como se separa del resto de los genotipos en el gráfico de ACP.

Se retiraron del análisis de los componentes principales los genotipos que pertenecían a especies distintas ya que al incluir en el análisis genotipos distintas, no se logran diferenciar las poblaciones de *B. rapa* por lo que se volvió a realizar el análisis de los componentes principales sin incluir a *B. napus* y *B. juncea* (Fig. 16).

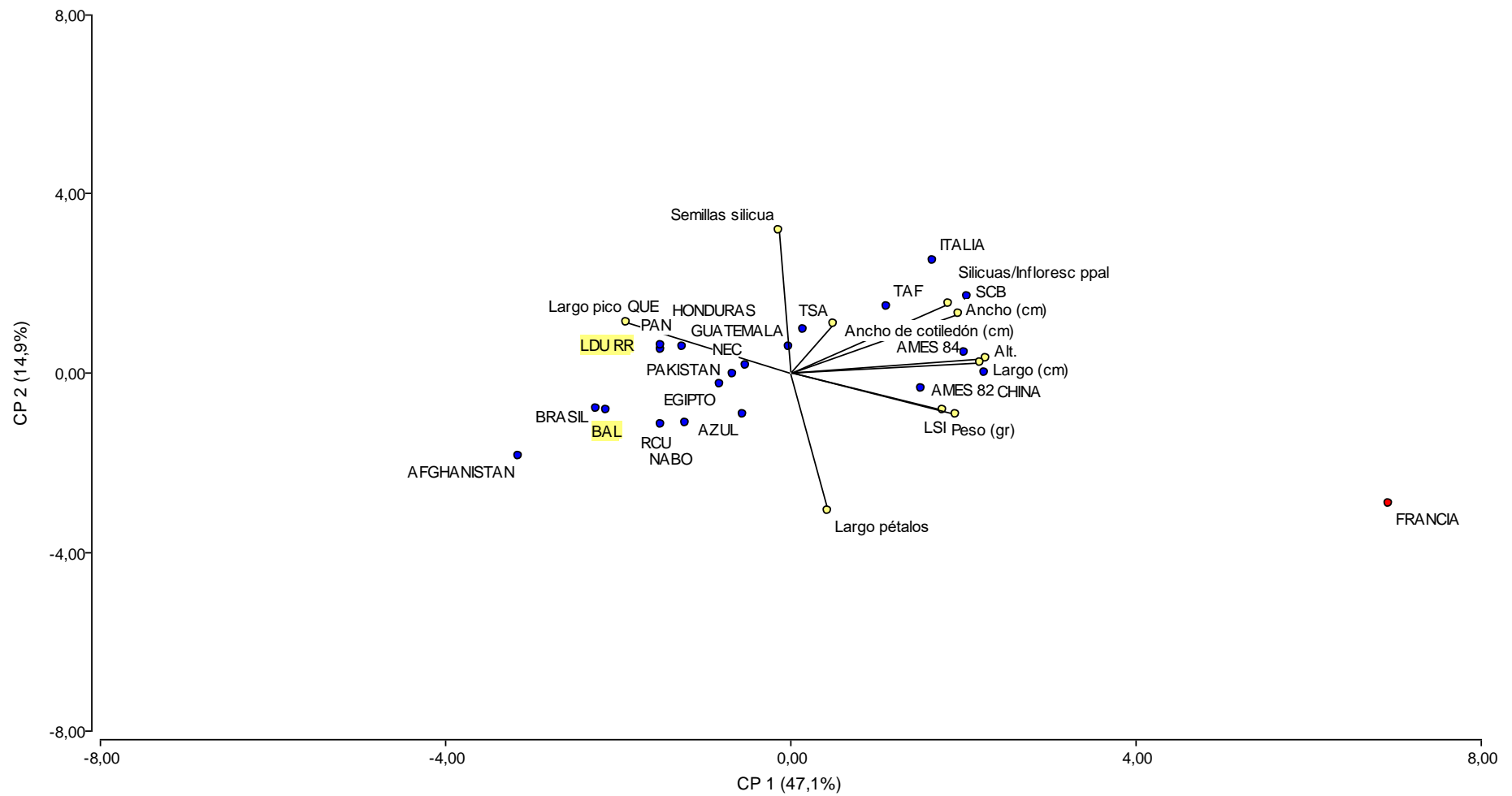


Figura 15. Análisis de los componentes principales para los distintos genotipos de *Brassica* sp. evaluados en el campo experimental.

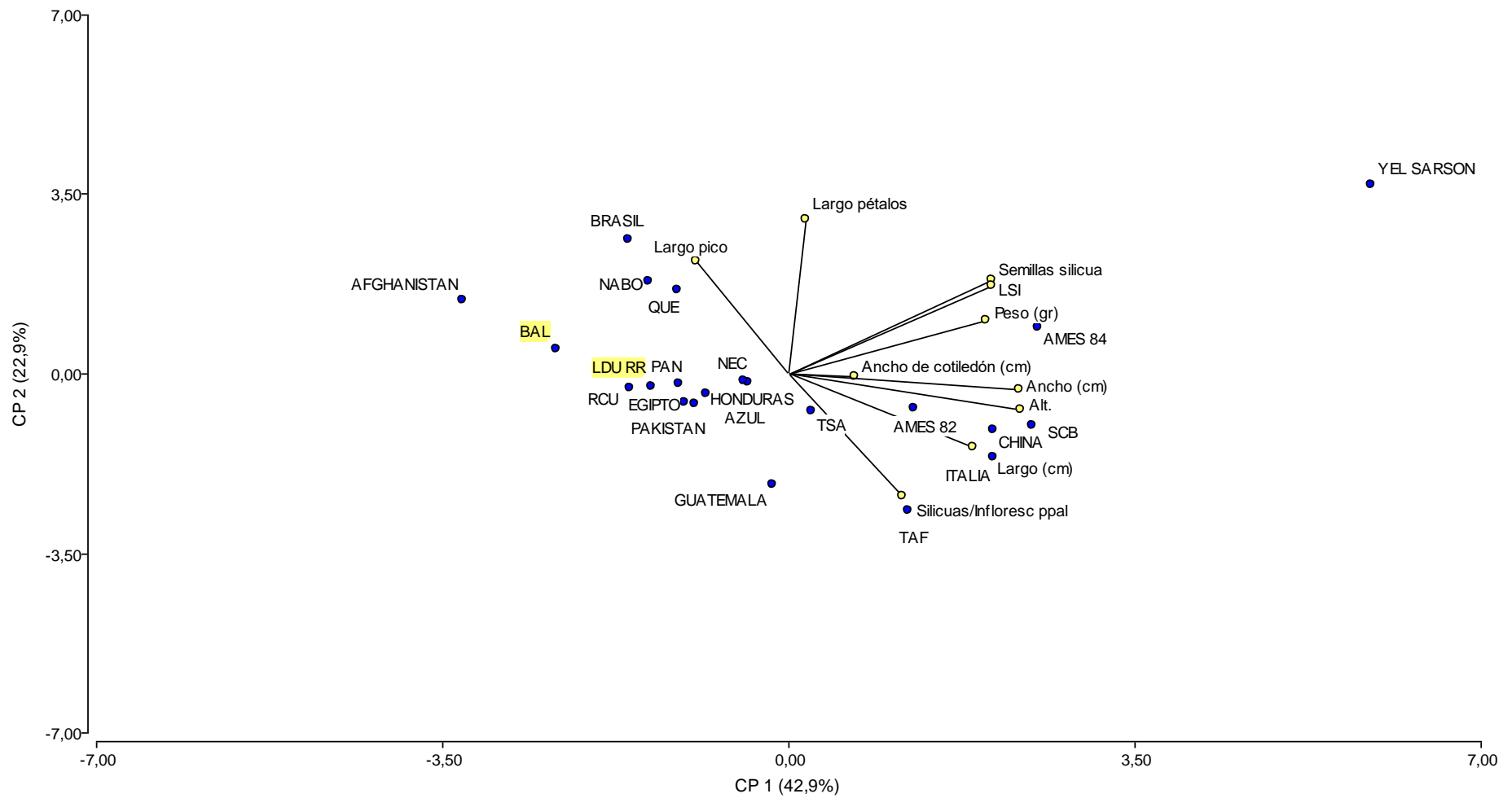


Figura 16. Análisis de los componentes principales para los distintos genotipos de *B. rapa* evaluados en el campo experimental.

Mediante el nuevo análisis de componentes principales ACP se observó como dos poblaciones se separan bien del resto, Yel. Sarson y Afganistán. Yel. Sarson es un cultivar oleaginoso con gran tiempo de domesticación y mejoramiento, principalmente para la producción de aceite, por lo que produce más semillas y con mayor peso. De Afganistán no se cuenta con mucha información.

Luego, las poblaciones argentinas se separaron en dos grupos. Por un lado, quedaron SCB y TAF, junto con las poblaciones silvestres, Ames 82, Ames 84, Italia y China. En general, se agruparon por tamaño de plantas ya que son más grandes. Italia y China pertenecen a cultivares de hoja.

El otro grupo lo constituyen el resto de las poblaciones argentinas, junto con Egipto, Honduras, Guatemala, Brasil y Pakistán. En general todas son especies silvestres, y se agrupan en el sentido contrario a altura de planta, es decir, son más pequeñas. Algunas se agrupan por tener un largo de pico mayor.

Se analizaron nueve descriptores cualitativos mediante la prueba de Kruskal-Wallis, de los cuales sólo se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los caracteres márgenes de hoja, color de hoja, pubescencia en hojas, tricomas y abrazamiento de la hoja superior. En todos los grupos de plantas se observó la disposición de silicua erecta, la forma de llave en las raíces, color de pétalos amarillo y las hojas de color verde a verde claro (Tabla 4).

Con lo que respecta a la forma de hojas, en todas las poblaciones se observó mayoritariamente la forma del tipo elíptica, presentándose en un 65 % del total de los ejemplares analizados, mientras que el 15% fue del tipo obovada. Solo un pequeño porcentaje presentó otro tipo de forma (espatulada, ovalada, lanceolada).

En la mayoría de las plantas analizadas se observó algo de pubescencia esparcida o muy esparcida sobre las hojas y presencia de tricomas, por lo cual no se pudo observar alguna tendencia que permitiera diferenciar los distintos genotipos estudiados. Las poblaciones que no presentaron tricomas y mostraron hojas glabras fueron Pakistán, Francia y Egipto. Además, Francia resultó una planta más robusta, con hojas superiores sésiles, apenas abrazadoras al tallo, lo que señala que esa población correspondía a *Brassica napus* (Tabla 4).

Para el carácter abrazamiento de la hoja superior, todas las poblaciones presentaron un grado de abrazamiento intermedio. Nuevamente Francia se diferenció del resto siendo sus hojas apenas abrazadoras, característica propia de la especie *B. napus*. Por otro lado, Finlandia mostró sus hojas pecioladas. Esta última característica señaló que

Finlandia coincidía con la especie *Brassica juncea* ya que esta es una de las características que la diferencia de *B. rapa*, la cual posee sus hojas superiores sésiles y amplexicaules (Tabla 4).

Se obtuvieron diferencias significativas entre los genotipos, en algunos descriptores estudiados. Teniendo en cuenta que, durante el ensayo realizado a campo, todas las plantas se desarrollaron en un jardín común, las desigualdades encontradas podrían deberse a las características agroecológicas a las que se encuentran adaptadas las poblaciones. El estudio morfológico no nos brindó suficiente información para poder encontrar algún patrón que nos permita inferir acerca del origen de las resistencias de las poblaciones de Argentina.

En la actualidad se han llevado a cabo diversos estudios de la estructura y las relaciones filogenéticas de subespecies de *B. rapa* utilizando un método de genotipificación por secuenciación (GBS) de alto rendimiento permite descubrir y calificar decenas y miles de marcadores moleculares del tipo SNP (polimorfismo de nucleótido único), para realizar una genotipificación de la especie en cuestión y, de esta forma generar una mejor resolución a las relaciones genéticas y filogenéticas de las subespecies dentro de la especie *B. rapa* (Bird, y otros, 2017).

En este contexto, futuras investigaciones se basarán en estudios moleculares para de esta forma determinar el posible origen de las poblaciones resistentes de *B. rapa* en nuestro país.

Conclusiones

- La población de Francia, enviada por el Banco de germoplasmas como *B. rapa*, se clasificó como *B. napus* debido a sus caracteres morfológicos.
- Yel. Sarson fue la población que presentó en promedio mayor número de semillas, mayor largo de silicua y mayor peso total de semillas. Posiblemente esta diferencia podría deberse a que pertenece a la subespecie *trilocularis*.
- El análisis de los componentes principales no presentó diferencias significativas entre las poblaciones con resistencia y los demás genotipos estudiados.
- En los ejemplares de la población Finlandia se observaron que sus hojas superiores eran pecioladas lo que correspondió con la especie *Brassica juncea*.
- Los descriptores cualitativos evaluados, no presentaron grandes diferencias que permitirían diferenciar los genotipos, a excepción de Francia y Finlandia, que pudieron catalogarse según su spp, *B. napus* y *B. juncea* respectivamente.
- Los resultados no mostraron una variabilidad que permita marcar una diferencia significativa entre las poblaciones de *B. rapa* con resistencia y los distintos genotipos analizados.
- Se considera que un estudio a nivel genético, por ejemplo mediante el uso de marcadores moleculares, podría generar y/o ampliar información acerca del parentesco entre distintas accesiones de *B. rapa* y de esta forma poder inferir el origen de las mismas.

Bibliografía

- Al-Shehbaz, I. B. (2006). Systematics and phylogeny of the Brassicaceae (Cruciferae): an overview. En *Plant Systematics and Evolution* (págs. 259:89–120).
- Bird, K., An, H., Gazave, E., Gore, M., Pires, C., Robertson, L., & Labate, J. (2017). Population Structure and Phylogenetic Relationship in a Diverse Panel of *Brassica rapa* L.
- Cabrera, A. L. (1978). En E. M. Zardini, *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires (II Ed)*. Buenos Aires: Editorial Acme.
- Cabrera, A. L. (s.f.). *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires* : Acme.
- FitzJohn, R. G.-L. (2007). Hybridisation within Brassica and allied genera: evaluation of potential for transgene escape. *Euphytica*.
- Gómez-Campo, C. &. (1999). Origin and Domestication. En C. Gómez-Campo (editor): *Biology of Brassica Coenospecies*, pp.: 33-58. Elsevier Science B. V. Amsterdam. 489pp.
- Iriarte, I. y. (2008). Cultivo de Colza. Chacra Experimental Integrada Barrow. Tres Arroyos, Argentina.
- Marzocca, A. M. (1976). *Manual de Malezas (III Ed.)*. Buenos Aires : Hemisferio Sur.
- Mortimer, A. M. (s.f.). En *Capítulo 2. La clasificación y ecología de las malezas*.
- Pandolfo, C. (2016). Caracterización de poblaciones ferales brasicáceas con resistencia a herbicidas. Tesis de doctorado. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Pandolfo, C. e. (2018). Transgene escape and persistence in an agroecosystem: the case of glyphosate resistant *Brassica rapa* L. in central Argentina. En *Environmental Science and Pollution*.
- Pandolfo, C., Presotto, A., Carbonell, F., Ureta, S., Poverene, M., & Cantamutto, M. (2016). Transgenic glyphosate-resistant oilseed rape (*Brassica napus*) as an invasive weed in Argentina: detection, characterization, and control alternatives. Bahía Blanca, Buenos Aires.

- Pascale, N. (1976). Colza. Su cultivo, mejoramiento y usos. . En *Kugler, W. (ed.). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería Tomo II.* . Buenos Aires : Acme (2da Edición).
- Prakash, S. W. (2012). History, Evolution, and Domestication of Brassica Crops. *Plant Breeding Reviews.*
- Tenembaum, J. (1937). El Nabo. Su cultivo en el país. En *Almanaque del Ministerio de Agricultura* (págs. 329–334). Buenos Aires .
- Tillería, S. G. (2016). CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES NATURALES DE Brassica rapa L. EN JARDIN COMUN.
- Warwick. (2011). Brassicaceae in agriculture. En: R. Schmidt y I. Bancroft (eds.) . En *Genetics and Genomics of the Brassicaceae. Springer Berlin Heidelberg. New York,*

Agradecimiento

A Sofia Tillería por ser la asesora externa en este trabajo, por acompañarme, por su paciencia, buena predisposición y dedicación a lo largo de todo este trayecto.

A Claudio Pandolfo, por ser el tutor del trabajo, por su buena predisposición y colaboración.

A los consejeros, Soledad Ureta y Alejandro Presotto, por su colaboración mediante sus aportes y sugerencias para el desarrollo de esta tesina.

A mi familia, en especial a mi papá y a mi mamá, por su apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera. Sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible.

A mi abuelo, por su apoyo desde el cielo hace cuatro años.

A mis hermanos, Anabella y Gabriel, por su apoyo a lo largo de toda la carrera.

A mis amigos de Choele Choel y a los que me dio esta carrera, por todo el apoyo brindado estos años.

A mi pareja, Emir por su apoyo incondicional.

A la familia. Dalmaso, por ser mi segunda familia y estar siempre en todos estos años.

A todos, muchas gracias.